

不同煤种掺烧比例对锅炉燃烧效率及污染物排放的影响研究

吴 军

国能河北综合能源有限公司 河北石家庄 050000

摘 要: 本文旨在深入研究不同煤种掺烧比例对电站锅炉燃烧效率及污染物排放特性的影响。通过理论分析与实践相结合的方法,探讨了掺烧比例变化对锅炉热效率、燃烧稳定性、以及氮氧化物(NO_x)、硫氧化物(SO_x)和粉尘等关键污染物排放浓度的作用机理。研究表明,科学合理地优化掺烧比例,可在保证锅炉安全稳定运行的前提下,有效提升燃烧效率并显著降低污染物排放,为燃煤电厂实现节能降耗与环保达标提供重要的理论依据和实践指导。

关键词: 煤种掺烧; 掺烧比例; 燃烧效率; 污染物排放; 锅炉运行优化

引言

煤炭作为我国的主体能源,在保障电力供应方面有着举足轻重的意义。大气污染物的主要来源在也有煤炭的直接燃烧,伴随环保标准愈发严苛以及煤炭市场价格的起伏,单一煤种燃烧的局限愈发明显,不少燃煤电厂开始启用多种煤炭掺烧的技术路径,以契合设计煤种、削减燃料成本并达成排放标准。不同煤种的挥发分、发热量、灰分、硫分等特性差异明显,掺烧比例直接左右着入炉煤的综合质量,继而给锅炉燃烧过程、传热特性和污染物生成路径带来复杂且深远的影响。本文系统性探究不同掺烧比例对锅炉综合性能的作用,对于引导电厂实际操作、实现经济和环保效益最大化有着重大现实意义。

一、不同煤种掺烧对锅炉燃烧效率的影响

锅炉燃烧效率是评判燃料化学能转化为热能有效性的核心指标,搭配燃烧不同特性煤种会从多个维度对其产生作用。

(一)对燃烧稳定性和燃尽程度的影响

高挥发分的煤种由于挥发分含量多,燃烧时容易析出并转化为可燃气体,能大幅优化着火条件,提升火焰稳定性。低挥发分煤种在燃烧时挥发分析出量少,燃烧进程主要聚焦于焦炭阶段,使得着火温度升高、燃烧速度变慢,并且容易产生燃尽难题,导致机械与化学未完全燃烧热损失加大。把高、低挥发分煤按一定比例混合,是惯用的燃烧优化举措。在混合燃烧中,高挥发分煤可率先起火,发挥点燃并稳定火焰的功效,为低挥发分煤后续的燃烧提供高温条件与持续的热量来源,进而提升其着火与燃尽性能。该协同效应能助力煤粉在炉内实现

均匀充分的燃烧。

精准确定掺烧比例极为重要。若低挥发分煤占比过高,混合煤的整体挥发分含量会降低,会引发着火推迟、火焰不稳、燃烧中心上移,严重情况下甚至会导致灭火,造成锅炉效率下滑和运行出现安全问题^[1]。若高挥发分煤的比例过大,虽说起火快速、燃烧猛烈,但很容易造成炉内局部温度过度升高,加重结渣与污染态势,同时可能会影响锅炉受热面的安全性。探寻最优掺混比例极为关键,一般依靠试验确定能让混合煤挥发分处于理想区间的比例,从而保证燃烧过程稳定且充分。合理的燃料掺烧可大幅提升燃尽率,降低未燃损耗,还可对炉内温度分布加以控制,降低污染物排放,最终达成锅炉运行经济性与可靠性的统一。

(二)对炉内结渣与传热特性的影响

煤的灰分特性,尤其是灰熔点与灰粘度,是判断锅炉运行期间是否出现结渣现象的重要参数。灰熔点偏低或者高温下灰粘度偏小,会明显提升熔融灰分在受热面上沉积的几率,最终引发严重的结渣状况。掺混不同特性的煤种,可高效调控混合煤的灰分成分,是改善结渣倾向的关键方法。若原煤的灰熔点偏低,容易使炉膛高温区域出现结渣问题,可挑选掺入灰熔点较高的煤种。这种掺混处理可调整灰中碱性氧化物和酸性氧化物的比例,一般能提升灰的熔融温度,让混合灰在高温下更不易熔化,由此从源头处降低结渣情况。

一旦炉内出现结渣现象,会造成多方面的危害。处于熔融状态的灰渣会附着在水冷壁、过热器等主要受热面,结成坚硬的覆盖物,这层渣壳会极大地妨碍热量向工质传输,造成锅炉吸热量降低。若要保持相同的蒸汽参数,常常得消耗更多的燃料,因传热性能恶化,炉膛

出口处的烟气温度会出现异常升高，致使排烟热损失明显增大，最终使得锅炉运行经济性急剧下滑。科学规划掺烧方案，不只是为了保障稳定燃烧，同等重要的是通过改变混合煤的灰特性来抑制结渣现象。优化掺烧比例被当作一种主动的预防性手段，它能够切实维持受热面的持久清洁，维持高效的传热效率，把排烟温度调控在合理区间，是增强锅炉整体热效率、达成机组安全与经济运行的必要技术方法。

（三）对锅炉运行参数适配性的影响

锅炉以及其配套的辅机系统，尤其是制粉系统，在设计及选型时均围绕特定设计煤种做了深度优化。这说明从磨煤机的规格、产能，直至一次风机的风量、风压，再到热风系统的干燥能力，都与设计煤种的挥发分、水分、可磨性等指标紧密契合。若掺烧的煤种与原设计煤种特性差异显著，或者掺烧比例控制出现偏差，系统运行工况将出现明显偏离。

这种偏差会明确反映在多个关键运行参数上，如磨煤机出力、风煤比和一次风温等。以混合燃烧高水分煤种的情况为例，若这种煤种的比例过高，制粉系统会面临极大难题，原热风系统所提供的干燥热量或许无法充分去除煤中的多余水分。为达到干燥出力的需求，系统往往只能减少给煤量，进而使磨煤机实际出力降低^[2]。为保障煤粉正常输送，可能需对一次风量进行调整，这将影响到最佳风煤配比。影响更为深远的是，干燥不足的煤粉容易在磨粉机内发生粘结，致使分离器效率下滑，煤粉细度变粗，均匀度降低。粗糙的煤粉颗粒会极大地破坏燃烧进程，致使燃尽时间延长，飞灰含碳量上升，最终体现为锅炉燃烧效率全面下滑和未完全燃烧损失增多。确定掺烧比例并非仅考量燃烧稳定性，还需要慎重评估它和现有辅机系统（尤其是制粉系统）承载能力及运行调控特性的适配情况。

二、不同煤种掺烧对污染物排放的影响

污染物排放给燃煤电厂带来了严峻挑战，掺烧技术是控制污染物排放既有效又经济的办法之一。

（一）对氮氧化物（NO_x）排放的影响

锅炉燃烧时产生的氮氧化物（NO_x）和炉膛内的局部高温区以及富氧环境关联紧密。高温与高氧浓度会极大推动热力型和燃料型NO_x的产生，把控燃烧温度和氧气分布是达成低氮燃烧的要害，合理配比来掺烧具有不同特性的煤种，能有效调控炉内工况并抑制NO_x生成。当加入低挥发分且高热值的煤种，此类煤着火所需温度较高，燃烧进程较为缓慢，可有效均衡火焰温度分布，

防止出现过高温峰值，以此抑制热力型NO_x大量生成。若加入一定比例的高挥发分煤种，燃烧初期该煤种会迅速析出并开始燃烧，大量耗用炉膛燃烧区域周边的氧气，形成局部的还原性氛围。这种缺氧条件可把煤中氮元素转化的中间产物还原成氮气，明显削减燃料型NO_x的生成量。

通过精准计算与动态调整掺烧比例，运行人员可主动且灵活地把控炉内燃烧状况。关键目标是营造温度均匀分布且有恰当还原区的燃烧环境，在不造成燃烧效率明显下降、不显著增加未燃尽碳损失的基础上，从源头最大程度削减NO_x生成量。这种依托掺混优化的低氮燃烧策略，可归为典型的“前端控制”技术，它不但削减了污染物生成量，又直接缓解了后端选择性催化还原（SCR）等脱硝设备的运行负荷，有利于降低催化剂的损耗和减少氨逃逸，最终达成环保达标与经济运行的双重目的。

（二）对硫氧化物（SO_x）排放的影响

锅炉烟气中二氧化硫（SO_x）的排放浓度，本质上由入炉燃料的总硫含量决定，其中的硫元素会被氧化，绝大多数转化成二氧化硫，跟着烟气排出，最直接控制SO_x排放的途径，是从根源把控，把控入炉煤的总体硫分。

把低硫煤与高硫煤掺混后燃烧，是达成该目标最直接且高效的途径之一，主要原理是借助物理混合的方式，“稀释”高硫煤中的硫分，进而降低混合燃料的平均硫含量^[3]。这种影响呈现出明显的线性关联：低硫煤的掺入比例越大，最终混合煤的收到基硫分（S_{ar}）越低。在同样的燃烧条件下，产生的SO_x原始排放浓度也会成比例相应降低。此控制策略为燃煤电厂，尤其是具有多样化煤炭供应渠道的电厂，带来了一种操作容易、初始投资成本相对不高的灵活解决办法。它无需像烟气脱硫（FGD）系统般投入庞大的建设及运行维护费用，而是借助优化燃料管理达成减排目的，精准测算不同煤种的硫分与热值，电厂能拟定出既契合当下环保排放限值，又兼顾经济成本的混烧方案。

（三）对粉尘排放的影响

锅炉烟气中粉尘（烟尘）原始排放浓度受煤的灰分含量与特性的关键影响。灰分作为煤炭中无法燃烧的矿物杂质，其含量多少直接影响着燃烧后产生的飞灰与炉渣总量，生成的固体残余物量越大，造成烟气所携带的飞灰颗粒物浓度相应增加，显著提升了烟尘的初始排放水平。采用掺烧低灰分煤种的方式，是控制灰分产出最为直接有效的途径之一。削减入炉煤的整体灰分占比，

能从根源上削减飞灰和炉渣的绝对产生量，这说明在同样的燃烧状况下，可降低进入烟气系统的粉尘负荷，为实现严格的排放标准打下了坚实基础。除了灰分的含量，其物理化学特性也会对最终排放产生重大影响。灰的组成情况决定了它的熔融特性、附着性以及颗粒粒径分布状况，含高钠、钾成分的灰或许有较强的粘附性，容易在受热面上堆积。然而，细小的粘性颗粒也可能引发除尘设备堵塞问题，部分灰分或许会生成更粗大或更易于捕集的颗粒，这些物理特性与电除尘器（ESP）的荷电和收尘效率直接相关，以及布袋除尘器滤袋的穿透与清灰效果。

开展科学的配煤掺烧工作，其作用并非仅仅简单稀释灰分浓度，更在于优化混合灰的化学组成和物理性质，积极打造更易于捕集的飞灰颗粒。采用特定煤种进行掺配，可对灰的烧结温度和电阻率进行调控，让其处于电除尘器工作效率最佳的理想范围；或者优化颗粒的粒径分布，削减难以捕捉到的亚微米颗粒的比例^[4]。一套精准测算的掺烧方案，可同步减少粉尘“总量”并改善其“品质”，让后续除尘设施能高效稳定运行，进而在经济可行的基础上，切实降低烟囱出口的粉尘排放浓度，契合超低排放的环保标准。

三、掺烧比例的优化策略及其在清洁燃烧中的应用

掺烧比例的优化策略在清洁燃烧中起着至关重要的作用。通过对不同煤种特性的深入分析，可以确定最佳的掺烧比例，以提高燃烧效率和减少污染物排放。在优化掺烧比例时，需要考虑煤种的挥发分、灰分、硫分以及发热量等因素。一般而言，高挥发分煤种适合在燃烧初期使用，以促进快速点燃和热释放，而低挥发分煤种则适合在后期保持稳定的热量输出。因此，通过合理调配这两类煤种，可以实现燃烧过程的高效性与稳定性。同时，掺烧比例的优化也需结合实际操作条件，如炉温、空气供给量等，以确保燃烧过程的科学性和有效性。

为了实现清洁燃烧，掺烧比例的优化策略还应关注污染物的减排。不同煤种在燃烧过程中对硫分和氮分的排放有不同影响。高硫煤在燃烧时会产生大量的二氧化硫，而通过与低硫煤种的合理配比，可以显著降低二氧化硫的排放。另一方面，氮氧化物的生成受到燃烧温度和氧气供给的影响。通过优化掺烧比例，可以调节燃烧温度，减少NO_x的形成^[5]。此外，通过合理选择煤种的掺烧比例，可以降低未燃烧碳和一氧化碳的排放，确保

燃烧的完全性。这些措施不仅提高了燃烧效率，还减少了对环境的影响，为清洁燃烧的实现提供了支持。

在实际应用中，掺烧比例的优化策略需要依赖实验数据和理论模型的结合。通过实验室燃烧试验，获取不同煤种在多种掺烧比例下的燃烧特性数据，能够为优化提供基础支持。同时，建立数学模型分析不同煤种组合对燃烧效率及污染物排放的影响，可以为实际操作提供科学依据。此外，现代燃烧技术的发展也为优化掺烧比例提供了新的机遇。例如，流化床和循环流化床等新型燃烧技术能够实现更高效的热能转换和更低的排放水平。通过与这些新技术结合，掺烧比例的优化将更加科学化、系统化，从而为清洁燃烧的目标贡献力量。

总结

本研究对不同煤种掺烧比例影响锅炉燃烧效率和污染物排放的机理展开系统剖析。研究成果显示，掺烧比例是影响锅炉综合性能的核心可控要素，从燃烧效率的角度看，合理的比例可增强燃烧稳定性、提升燃尽程度并减少结渣现象；从污染物排放方面看，借助比例调控可切实抑制NO_x产生、稀释硫分含量并对粉尘特性产生影响，明确最优掺烧比例是个复杂的多目标决策工作。在保障安全的情况下，兼顾经济性、环保性与设备可靠性，通过科学的试验与分析数据的方法，为燃煤电厂优化燃料采购与配烧策略、达成清洁高效生产提供关键参考。

参考文献

- [1] 向家涛, 桂其林, 杨奕彬, 等. 高碱煤掺烧低钠煤的混煤结渣特性试验研究[J]. 锅炉技术, 2024, 55(6): 42-50.
- [2] 陈友良, 莫恭坤, 黄永建. 300MW 机组多煤种掺烧锅炉燃烧调整[J]. 广西节能, 2023(1): 23-25.
- [3] 庄志宝, 刘刚, 王政达. 掺烧煤质差异较大煤种对“W”火焰炉运行参数的影响[J]. 电站系统工程, 2024, 40(2): 24-26.
- [4] 钟艳斌. 叠加配煤法在火电厂燃煤掺烧中的应用分析[J]. 中国设备工程, 2023(14): 21-24.
- [5] 何文兵, 李兴智, 徐亚, 等. 350MW 燃用贫煤锅炉改烧强结渣沾污烟煤的调整及改造技术研究[J]. 洁净煤技术, 2024, 30(S01): 255-262.